

BL20B2 医学・イメージング I

1. 概要

BL20B2は偏向電磁石を光源とした中尺のビームラインであり、蓄積リング棟内の実験ハッチ（上流ハッチ1）及び医学利用実験棟内の実験ハッチ（下流ハッチ2、3）において、X線イメージングを中心としたユーザー利用実験が行われている。特に、光源から200 m以上の距離に位置しているハッチ2、3では、大面積の単色X線ビームが得られることから、マウスやウサギ新生児などの小動物を用いたイメージング実験等に利用されている。

2. X線ステレオイメージング光学系の開発

BL20B2の下流ハッチでは、マウスなどの実験動物を用いたリアルタイムイメージング実験が行われている。これらのイメージング実験では、吸収コントラスト（試料の透過像をその直後に配置した画像検出器で測定）や、屈折コントラスト（試料と検出器間距離を長くすることによりX線の屈折効果によるエッジ強調を利用して画像を測定）を用いて、外からでは観察できない試料内部の動的変化の様子を捉えることを目的としている。通常、試料の透過画像は、2次元の画像検出器（CCDカメラやCMOSカメラ）で測定されるため、得られる情報はX線の光軸に対して平行に投影された2次元の情報のみであり、試料の3次元的な情報（この場合は、光軸に対して平行に投影される際の奥行き方向の情報）は失われてしまっている。3次元非破壊測定法として知られるX線トモグラフィー（CT）の原理からもわかるように、X線の透過イメージングにおいて試料の3次元的な情報を得るためには、試料に対して複数方向からの投影情報が必要となる。一方で、人間の目の場合、例えば右目と左目の視差を利用することで、物体を立体的に解釈することができる（一般的に言われる立体視）。つまり、試料に対して、少なくとも異なった2方向からの情

報があれば、3次元的な解釈が得られるということになる。

そこで本手法では、試料を進行方向の異なる2つのX線ビームで同時投影し、その透過画像を得ることを目的としたX線ステレオイメージング光学系の開発を行った^[1]。ステレオイメージングの概略図を図1に示す。放射光X線ビームから進行方向の異なる2つのX線ビームを生成するために、BL20B2の下流ハッチで得られる幅の広いX線ビームに対して、その一部を水平面内で反射することにより、残りの直進するビームと組み合わせてステレオビームを生成した。ビーム反射用素子には、比較的高い反射率が得られ、かつ反射角度も大きく取れるように、Si(111)の平板結晶を用いた。Si結晶は大きさ200 mm×100 mm、厚さ5 mmであり、片面は鏡面に研磨されているのに対して、もう片面にはラップ研磨を施した。これは、単色入射ビーム中の僅かなエネルギー分散やビームの自然発散の影響に対応するもので、実効的にBragg反射におけるバンド幅を広げている。X線エネルギー20 keVの場合、結晶のBragg反射角及びステレオビームの交差角はそれぞれ5.67度（ θ ）、11.34度（ 2θ ）となる。反射ビームの横幅は、Si結晶のアクセプタンスに依存しており、X線エネルギー20 keVの場合、20 mm程度となるので、マウスなどの小動物に対して応用することが可能である。

X線ステレオイメージングの測定例として、吸収コントラストを利用して測定したマウス大腿部のステレオ血管造影の結果を図2に示す。この測定では、検出器を試料の直後に設置し、2つの透過画像を1つの検出器で同時に計測した。また、試料と検出器間の距離を長くすることにより屈折コントラストを用いて測定したマウス胸部のステレオ撮影の結果を図3に示す。こちらは、2台の検出器を同期することで計測した。

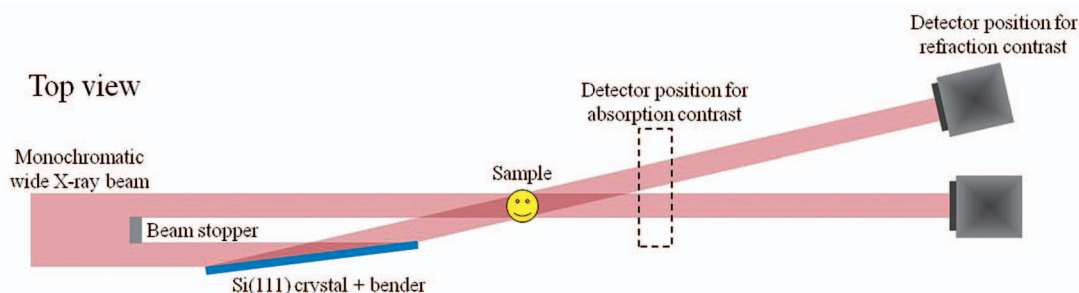


図1 X線ステレオイメージング光学系の概略図（上面図）

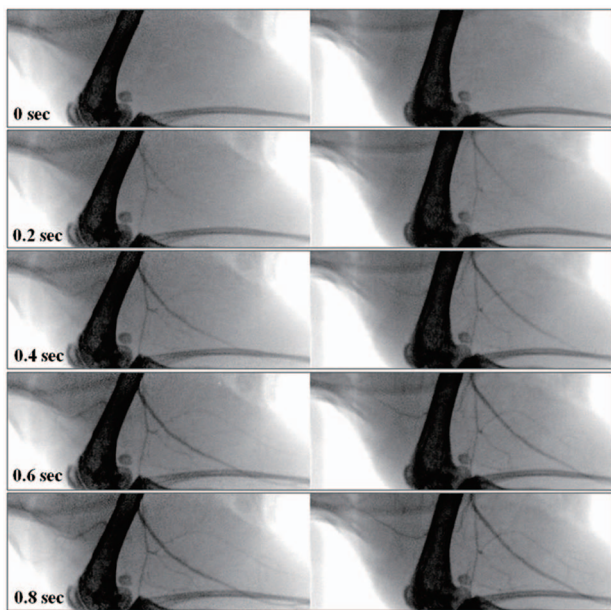


図2 マウス大腿部におけるX線ステレオ血管造影。撮影は10 Hzで行った。
X線エネルギーは15 keV。スケールバー：2 mm

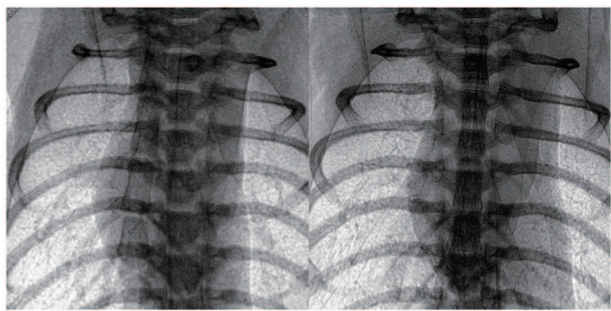


図3 屈折コントラストを用いたマウス胸部のX線ステレオ画像。撮影は24 Hzで行った。X線エネルギーは20 keV。
スケールバー：2 mm

3. 展望

X線ステレオイメージングを導入することで、これまで2次元の投影情報しか得られなかったライブイメージングにおいて、3次元的な情報を付加できる測定が可能となった。特に、ワイヤーフレーム構造や粒子状構造を持つ試料に対しては、画像相関法などの手法を用いることで、2つの画像間で対応する点の座標情報を取得し、簡単な計算により試料の奥行き方向の座標を特定することが可能となる。これにより、測定例で示したようなマイクロ血管造影における3次元血流解析や、Particle Image Velocimetry (PIV) における3次元解析などへの応用が期待される。

参考文献：

- [1] M. Hoshino et al.: J. Synchrotron Rad., **18** (2011) 569-574.

利用研究促進部門

バイオ・ソフトマテリアルグループ

星野 真人